



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Off enlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 52 760 A 1**

⑤1 Int. Cl. 7:  
**B 01 F 7/22**

②1 Aktenzeichen: 199 52 760.1  
②2 Anmeldetag: 2. 11. 1999  
④3 Offenlegungstag: 23. 5. 2001

DE 199 52 760 A 1

⑦1 Anmelder:  
Durst, Franz, Prof. Dr., 91094 Langensendelbach,  
DE; Schäfer, Marcus, 91054 Erlangen, DE; Wächter,  
Peter, 91077 Dormitz, DE

⑦4 Vertreter:  
Gaßner, W., Dr.-Ing., Pat.-Anw., 91052 Erlangen

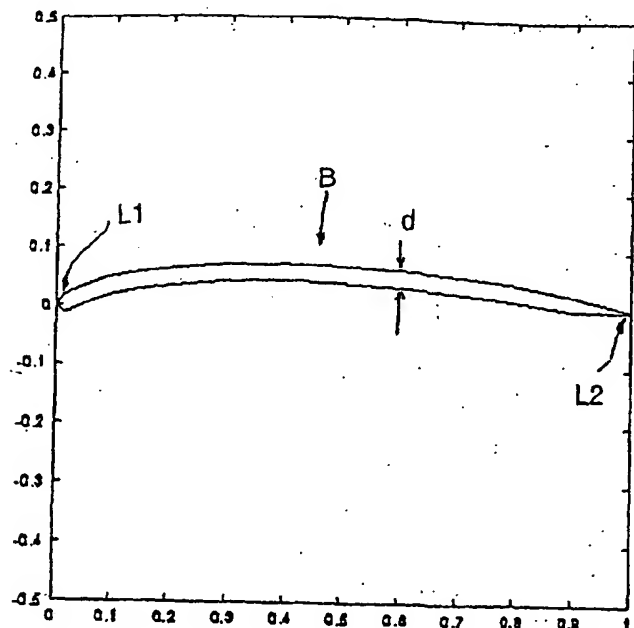
⑦2 Erfinder:  
Durst, Franz, Prof. Dr. Dr., 91094 Langensendelbach,  
DE; Schäfer, Marcus, 91054 Erlangen, DE; Wächter,  
Peter, 41539 Dormagen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Rührelement

⑤1 Die Erfindung betrifft ein Rührelement zum Mischen eines Fluids mit einer Mehrzahl an einer Nabe N angebrachten Blättern B, die aus einer Platte mit einem gekrümmten Profil gebildet sind, wobei die Platte eine im wesentlichen einheitliche Dicke d aufweist. Zur Verbesserung der Rührwirkung ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß das Profil eine asymmetrische Krümmung nach Art eines Flugzeugflügels aufweist.



DE 199 52 760 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Rührelement zum Mischen eines Fluids nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Ein solches Rührelement ist aus der US 5,297,938 bekannt. Dabei sind die Blätter über Hilfsblätter an einer Nabe angebracht. Die Blätter bestehen aus einer geknickten Platte. Der radial außenliegende Plattenabschnitt ist im wesentlichen symmetrisch gekrümmt.

Aus der US 4,802,771 ist eine Rührvorrichtung bekannt, bei der an einer Welle endständig ein Rührelement angebracht ist. Die Blätter des Rührelements sind an ihren Enden mit symmetrisch gekrümmten Linsen versehen.

Die US 4,519,715 beschreibt ein Propeller zur Erzeugung einer axialen Strömung. Die sich von der Welle erstreckenden Blätter weisen im Querschnitt eine symmetrische Krümmung auf.

Aus der US 4,896,971 ist eine Mischvorrichtung bekannt, bei der an einer Welle mehrere Flügelräder angebracht sind. Die Enden der Blätter sind nach unten gekrümmt. Die Blätter weisen an den Enden eine symmetrische Wölbung auf. Sie sind mit schmalen Hilfsblättern an der Welle angebracht. In Draufsicht auf das Rührelement überlappen die Blätter teilweise.

Die US 5,158,434 und 5,112,192 beschreiben Flügelräder zum Mischen in Flüssigkeiten. Die Blätter dieser Flügelräder erstrecken sich radial von einer Welle. Sie sind gewunden und weisen ein Vollprofil nach Art eines Flugzeugflügels auf.

Bei den in den US 5,813,837 und 5,052,892 beschriebenen Flügelrädern sind wiederum geknickte Blätter an der Welle angebracht.

Bei den bekannten Rührvorrichtungen ist zur Erzielung des gewünschten Rührergebnisses ein relativ hoher Leistungseintrag erforderlich. Außerdem erfordern die Rührvorrichtungen nach dem Stand der Technik einen hohen Herstellungsaufwand.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Rührelement anzugeben, mit dem mit möglichst wenig Energieaufwand eine gute Durchmischung eines Fluids möglich ist. Außerdem soll das Rührelement möglichst einfach und kostengünstig herstellbar sein.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Zweckmäßige Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Merkmalen der Ansprüche 2-14.

Nach Maßgabe der Erfindung ist vorgesehen, daß das Profil asymmetrisch nach Art eines Flugzeugflügels gekrümmt ist. - Das erfindungsgemäße Rührelement führt überraschenderweise bei einem deutlich geringeren Energieeintrag zu vergleichbaren Rührergebnissen. Es ist einfach und kostengünstig herstellbar.

Die Platte weist ferner eine erste und eine zweite Längskante auf und der Krümmungsradius nimmt im Profil von der ersten zur zweiten Längskante ab. Das so gebildete Profil zeichnet sich durch einen besonders hohen Auftriebsbeiwert  $c_a$  und einen geringen Widerstandsbeiwert  $c_w$  aus.

Das Profil weist bei einer Reynoldszahl  $Re$  von weniger als 60.000 eine Gleitzahl  $\epsilon$  von höchstens 0,09, vorzugsweise höchstens 0,04, auf. Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist die Gleitzahl  $\epsilon$  in einem Bereich der Reynoldszahl von 40.000 bis 120.000, vorzugsweise bis 180.000, kleiner als 0,04.

Von hydrodynamischem Vorteil ist es ferner, daß die zweite Längskante der Platte im Profil spitz zulaufend ausgebildet ist. Je nach Anwendungsfall können die erste und die zweite Längskante unterschiedlich lang ausgebildet sein.

Als besonders vorteilhaft wird es angesehen, daß die Blätter mittels eines Verbindungsstücks mit einem Abstand zur

Nabe gehalten sind. Bei dem Verbindungsstück kann es sich um eine Stange, ein Rohr oder ein besonders strömungsgünstig profiliertes Element handeln. Bei einer solchen Anordnung der Blätter bilden sich ab einer bestimmten Bewegungsgeschwindigkeit an der ersten Längskante bzw. Hinterkante der Blätter zwei gegenläufig rotierende Wirbelzöpfe. Die Ausbildung solcher Wirbelzöpfe ist vorteilhaft; sie tragen zur verbesserten Durchmischung des Fluids bei. Die Wirbelzöpfe bilden sich überraschenderweise auch bei Profilen mit einer kleinen Gleitzahl aus. Der Energieaufwand zu deren Erzeugung ist gering.

Vorteilhafterweise ist eine Profilachse des Profils senkrecht zur Achse der Nabe angeordnet. Es kann aber auch sein, daß die Profilachse in einem Winkel zur Achse der Nabe oder auch parallel zur Achse der Nabe angeordnet ist. Unter Profilachse wird in diesem Zusammenhang eine Achse verstanden, welche im wesentlichen parallel zu den Längskanten verläuft und Punkte gleicher Krümmung miteinander verbindet.

Nach einem weiteren Ausgestaltungsmerkmal sind die Blätter mit einem Anstellwinkel gegenüber einer senkrecht zur Achse der Nabe gedachten Ebene angebracht. Wenn die Profilachse parallel zur Achse der Nabe angeordnet ist, kann es vorteilhaft sein, daß die Blätter mit einem Anstellwinkel gegenüber einer parallel zur Achse der Nabe gedachten Ebene angebracht sind. Der Anstellwinkel kann zwischen 0,5 und 30°, vorzugsweise 10-15°, sein. Damit wird das Rührergebnis weiter verbessert. Selbstverständlich sind auch Schrägstellungen der Blätter zwischen der vorgenannten senkrechten und parallelen Anordnung möglich.

Es ist vorteilhaft, daß mindestens zwei der Blätter in einander gegenüberliegender Anordnung in einer ersten Ebene an der Nabe angebracht sind. Es können aber auch mehrere, z. B. vier, an einander gegenüberliegenden radial sich von der Nabe erstreckenden Achsen angebrachte Blätter vorgesehen sein. Es ist auch möglich, daß eine Mehrzahl von Ebenen vorgesehen ist und in jeder der Ebenen mindestens zwei Blätter in einander gegenüberliegender Anordnung vorgesehen sind.

Nachfolgend werden anhand der Zeichnung Ausführungsbeispiele der Erfindung näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 ein Profil eines erfindungsgemäßen Blatts,

Fig. 2 die Ermittlung der Gleitzahl des Blatts gemäß Fig. 1 und eines Tragflügelprofils nach dem Stand der Technik,

Fig. 3 die Gleitzahl des Blatts nach Fig. 1 im Vergleich zu Gleitzahlen eines Tragflügelprofils nach dem Stand der Technik sowie einer ebenen Platte,

Fig. 4 die Ausbildung von Wirbelzöpfen bei einem Blatt gemäß Fig. 1,

Fig. 5 den Leistungseintrag des Blatts gemäß Fig. 1 im Vergleich zu Rührelementen nach dem Stand der Technik,

Fig. 6 ein erstes Rührelement,

Fig. 7 ein zweites Rührelement,

Fig. 8 ein drittes Rührelement,

Fig. 9 ein viertes Rührelement,

Fig. 10 ein fünftes Rührelement und

Fig. 11 ein sechstes Rührelement.

Zur Charakterisierung von Rührelementen werden in der Rührwerkstechnik vor allem die Reynoldszahl benutzt. Sie ergibt sich aus der folgenden Beziehung:

$$Re = \frac{n d r^2}{\nu}$$

Dabei ist  $d$ , der Rührerdurchmesser,  $n$  die Drehzahl und  $\nu$  die kinematische Viskosität.

Hinsichtlich der geometrischen Gestaltung des Profils der

Blätter von Flügelrädern kann von der Gleichung für die Auftriebskraft ausgegangen werden:

$$F_A = C_a \cdot S \cdot q$$

wobei die Bezugsfläche  $S$  durch das Produkt aus der Profiltiefe  $l$  mit der Spannweite  $b$  definiert ist:

$$S = b \cdot l.$$

Analog dazu läßt sich für die Widerstandskraft  $F_w$  folgendes definieren:

$$F_w = C_w \cdot S \cdot q.$$

Bei den Faktoren  $c_a$  und  $c_w$  handelt es sich um den dimensionslosen Auftriebs- bzw. Widerstandsbeiwert. Mit  $q$  ist der kinetische Druck bezeichnet.

Die Gleitzahl  $\varepsilon$  ist wie folgt definiert:

$$\varepsilon = \frac{C_w}{C_a}$$

Zur Bestimmung der Rührleistung kann die folgende Beziehung angesetzt werden:

$$P = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n.$$

Zur Bestimmung der Rührleistung  $P$  ist es ausreichend, das Drehmoment  $M$  und die Drehzahl  $n$  des Rührers zu kennen. Beide Größen können ohne weiters gemessen werden. Nach der Ermittlung dieser Größen ist es möglich, die dimensionslose Reynoldszahl  $Re$  zu ermitteln. Ebenso kann die Rührleistung bzw. der Leistungseintrag  $P$  gegenüber der Mischzeit aufgetragen werden.

In Fig. 1 ist ein Profil eines erfindungsgemäßen Blatts B gezeigt. Das Blatt B ist aus einer Platte mit einer ersten Längskante L1 und einer zweiten Längskante L2 hergestellt. Der Krümmungsradius nimmt im Profil von der ersten L1 zur zweiten Längskante hin ab. Die zweite Längskante L2 ist im Profil spitz zulaufend ausgebildet. Mit Ausnahme des spitz zulaufenden Abschnitts im Bereich der zweiten Längskante L2 weist das Blatt B eine im wesentlichen einheitliche Dicke  $d$  auf.

In Fig. 2 ist der Auftriebsbeiwert  $c_a$  des Blatts B gemäß Fig. 1 über dessen Widerstandsbeiwert  $c_w$  bei einer Reynoldszahl von 42.000 aufgetragen. Im Vergleich dazu ist rechts daneben ebenfalls der Auftriebsbeiwert  $c_a$  über dem Widerstandsbeiwert  $c_w$  für ein Tragflügelprofil nach dem Stand der Technik gezeigt. Dieses Tragflügelprofil ist im Gegensatz zum Profil gemäß Fig. 1 an seiner Unterseite eben ausgebildet.

Aus der vergleichenden Darstellung in Fig. 2 wird deutlich, daß das erfindungsgemäße Blatt B höhere Auftriebsbeiwerte  $c_a$  und niedrigere Widerstandsbeiwerte  $c_w$  aufweist als der Tragflügel nach dem Stand der Technik.

In Fig. 3 ist vergleichend die Gleitzahl  $\varepsilon$  über der Reynoldszahl für das Blatt B gemäß Fig. 1, ein Tragflügelprofil nach dem Stand der Technik und eine ebene Platte gezeigt. Das Blatt B gemäß Fig. 1 ist über den gesamten Bereich der hier betrachteten Reynoldszahlen  $Re$  von etwa 20.000 bis 180.000 durch besonders niedrige Gleitzahlen  $\varepsilon$  gekennzeichnet. Die Gleitzahlen  $\varepsilon$  sind über den Gesamtbereich stets kleiner als 0,04. Insbesondere auch im Bereich zwischen 20.000 und 60.000 sind die Gleitzahlen  $\varepsilon$  des Blatts B gemäß Fig. 1 kleiner als 0,04. Hier erreichen die Gleitzahlen  $\varepsilon$  des Tragflügelprofils nach dem Stand der Technik Werte von mehr als 0,2.

In Fig. 4 ist die bei Benutzung des Blatts B gemäß Fig. 1 in einem Fluid hervorgerufene Wirbelbildung gezeigt. Die an dem erfindungsgemäßen Blatt B hervorgerufene räumliche Strömung entsteht durch einen Druckausgleich zwischen Blattunter- und -oberseite an den Blattenden. Dieser Druckausgleich bewirkt eine Ablenkung der Stromlinien an der Oberseite zur Mitte hin und auf der Unterseite von der Mitte weg. Gegen die Blattmitte nimmt die Größe der Stromlinienablenkung beidseitig auf Null ab. Bei der Wiedervereinigung der oberen und unteren Stromlinien hinter dem Blatt, weisen diese, je nach Größe der Ablenkung, seitliche Geschwindigkeitskomponenten auf. Dadurch wird eine Drehbewegung eingeleitet. Entlang der zweiten Kante L2 entstehen also Wirbel, die zusammen eine Wirbelfläche bilden. Besonders stark ausgebildet sind die Wirbelbänder, welche von den Blattenden ausgehen. Diese werden allgemein als "Wirbelzöpfe" bezeichnet. Das erfindungsgemäße hydrodynamisch profilierte Blatt B zeichnet sich durch besonders schmale Wirbelzöpfe aus. Spritzt man z. B. zur Durchführung einer chemischen Reaktion eine 2. Komponente in den Bereich dieser Wirbelzöpfe, so gewährleisten die Wirbelzöpfe eine schlagartige Durchmischung mit einer im Fluid vorliegenden 1. Komponente. Das ermöglicht insbesondere bei konkurrierenden chemischen Reaktionen eine gezielte Reaktionsführung, d. h. eine Beeinflussung der Selektivität und des Umsatzes.

In Fig. 5 ist die Mischzeit des Blatts B gemäß Fig. 1 über dem Leistungseintrag  $P$  gezeigt. Das hier benutzte Blatt B weist eine Kantenlänge der ersten und zweiten Längskanten von 50 mm und eine Kantenlänge der ersten und zweiten Querkanten von 50 mm auf. Die Dicke der gewölbten Platte beträgt 1 mm. Der Anstellwinkel ist 15°. Gegenüber den nach dem Stand der Technik von Ruzkowski untersuchten Rührelementen (Ruzkowski, S., 1994, A rational method for measuring blending performance and comparison of different impeller types, Proc. Eight European Conference on Mixing, I. Chem. E. Symposium Series No. 136, 283-291) ist die Mischzeit bei vergleichbarem Leistungseintrag um ein Mehrfaches verringert. Das erfindungsgemäße Rührelement ist also besonders energiesparend.

In Fig. 6 ist ein erstes Ausführungsbeispiel eines Rührelements gezeigt. Auf einer Welle  $W$  ist eine Nabe  $N$  angebracht. Von der Nabe  $N$  erstrecken sich stangenartige Verbindungselemente  $V$ , an denen endständig jeweils ein Blatt  $B$  angebracht ist. Eine Profillachse  $P$  der Blätter  $B$  ist hier parallel zur Achse der Nabe  $N$  orientiert. Bei dem in Fig. 7 gezeigten zweiten Ausführungsbeispiel ist die Profillachse  $P$  senkrecht zur Achse der Nabe  $N$  angeordnet. Die Blätter  $B$  sind hier mit einem Anstellwinkel von etwa 15° gegenüber einer insbesondere durch Rotation der Verbindungselemente  $V$  definierten Ebene angestellt. Die Ebene steht also senkrecht zur Achse der Nabe  $N$ .

Bei den in den Fig. 8 und 9 gezeigten dritten und vierten Ausführungsformen ist das Verbindungselement  $V$  kürzer als bei den vorerwähnten Ausführungsbeispielen ausgeführt.

Fig. 10 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem zwei Blätter  $B$  in einander gegenüberliegender Anordnung endständig jeweils an einem Verbindungselement  $V$  befestigt sind. Es sind hier mehrere Ebenen vorgesehen. Jede Ebene ist mit einem aus zwei Blättern  $B$  in gegenüberliegender Anordnung bestehenden Rührelement besetzt.

In Fig. 11 ist ein Rührelement gezeigt, bei dem jeweils zwei Blätter  $B$  an einem Verbindungselement  $V$  aufgenommen sind.

## Bezugszeichenliste

schen sind.

N Nabe	
W Welle	
B Blatt	5
P Profilachse	
V Verbindungselement	
L1 erste Längskante	
L2 zweite Längskante	
d Dicke	10

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

## Patentansprüche

1. Rührelement zum Mischen eines Fluids mit einer Mehrzahl an an einer Nabe (N) angebrachten Blättern (B), die aus einer Platte mit einem gekrümmten Profil gebildet sind, wobei die Platte eine im wesentlichen einheitliche Dicke (d) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Profil eine asymmetrische Krümmung nach Art eines Flugzeugflügels aufweist. 15
2. Rührelement nach Anspruch 1, wobei die Platte eine erste (L1) und eine zweite Längskante (L2) aufweist und der Krümmungsradius im Profil von der ersten (L1) zur zweiten Längskante (L2) abnimmt. 20
3. Rührelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Blatt (B) bei einer Reynoldszahl von weniger als 60.000 eine Gleitzahl  $\epsilon$  von höchstens 0,09, vorzugsweise höchstens 0,04, aufweist. 25
4. Rührelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gleitzahl  $\epsilon$  des Blatts (B) in einem Bereich der Reynoldszahl von 40.000 bis 120.000, vorzugsweise bis 180.000, kleiner als 0,04 ist. 30
5. Rührelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die zweite Längskante (L2) der Platte im Profil spitz zulaufend ausgebildet ist. 35
6. Rührelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste (L1) und die zweite Längskante (L2) unterschiedlich lang ausgebildet sind.
7. Rührelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Blätter (B) mittels eines Verbindungsstücks (V) mit einem Abstand zur Nabe (N) gehalten sind. 40
8. Rührelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Profilachse (P) des Profils senkrecht zur Achse der Nabe (N) angeordnet ist. 45
9. Rührelement nach Anspruch 8, wobei die Blätter (B) mit einem Anstellwinkel gegenüber einer senkrecht zur Achse der Nabe (N) gebrachten Ebene angebracht sind.
10. Rührelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Profilachse (P) parallel zur Achse der Nabe (N) angeordnet ist. 50
11. Rührelement nach Anspruch 10, wobei die Blätter (B) mit einem Anstellwinkel gegenüber einer parallel zur Achse der Nabe (N) gedachten Ebene angebracht sind. 55
12. Rührelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Anstellwinkel zwischen 0,5 und 30°, vorzugsweise 10-15°, ist.
13. Rührelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mindestens zwei der Blätter (B) in einander gegenüberliegender Anordnung in einer ersten Ebene an der Nabe (N) angebracht sind. 60
14. Rührelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Mehrzahl an Ebenen vorgesehen ist und in jeder der Ebenen mindestens zwei der Blätter (B) in einander gegenüberliegender Anordnung vorge- 65

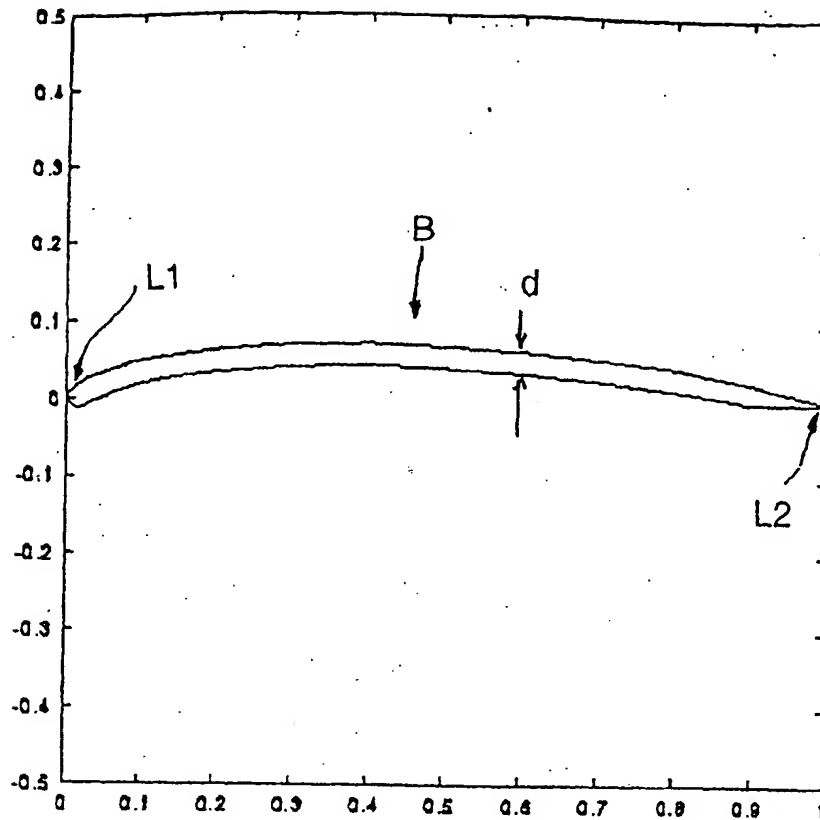


Fig. 1

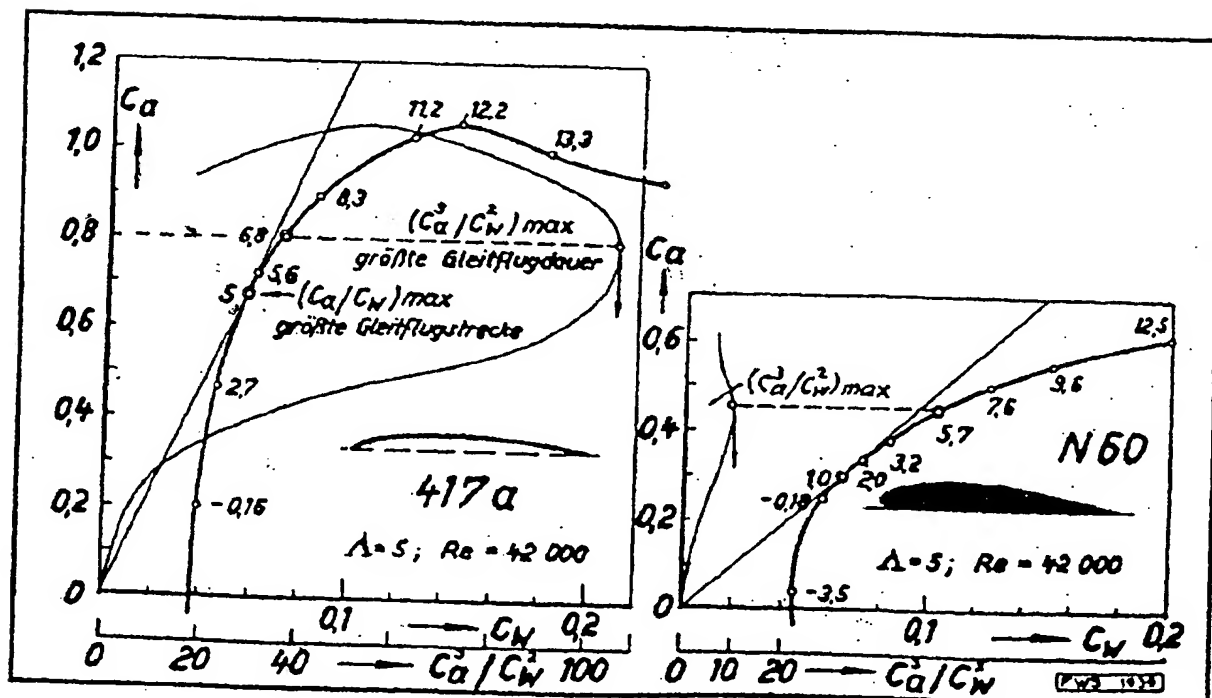


Fig. 2

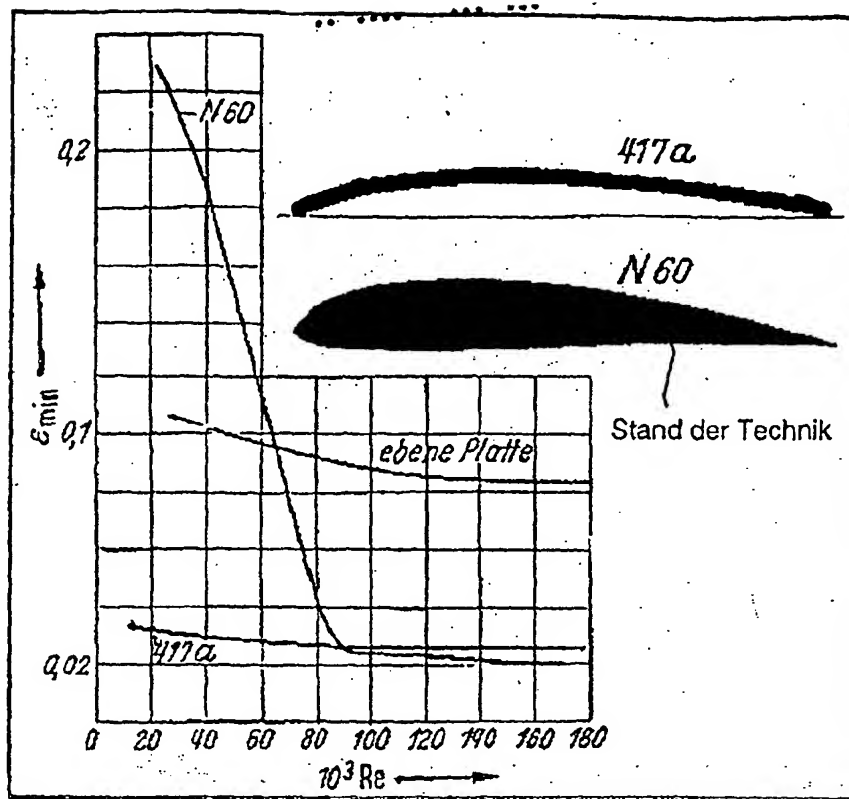
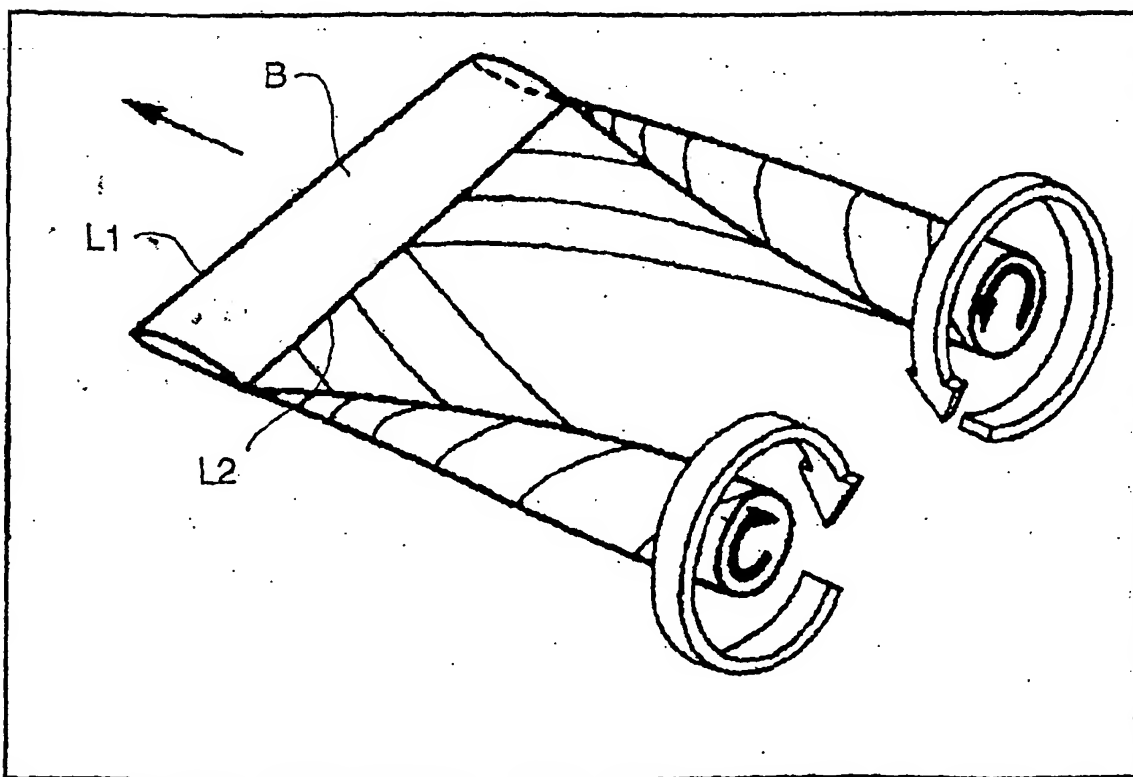


Fig. 3



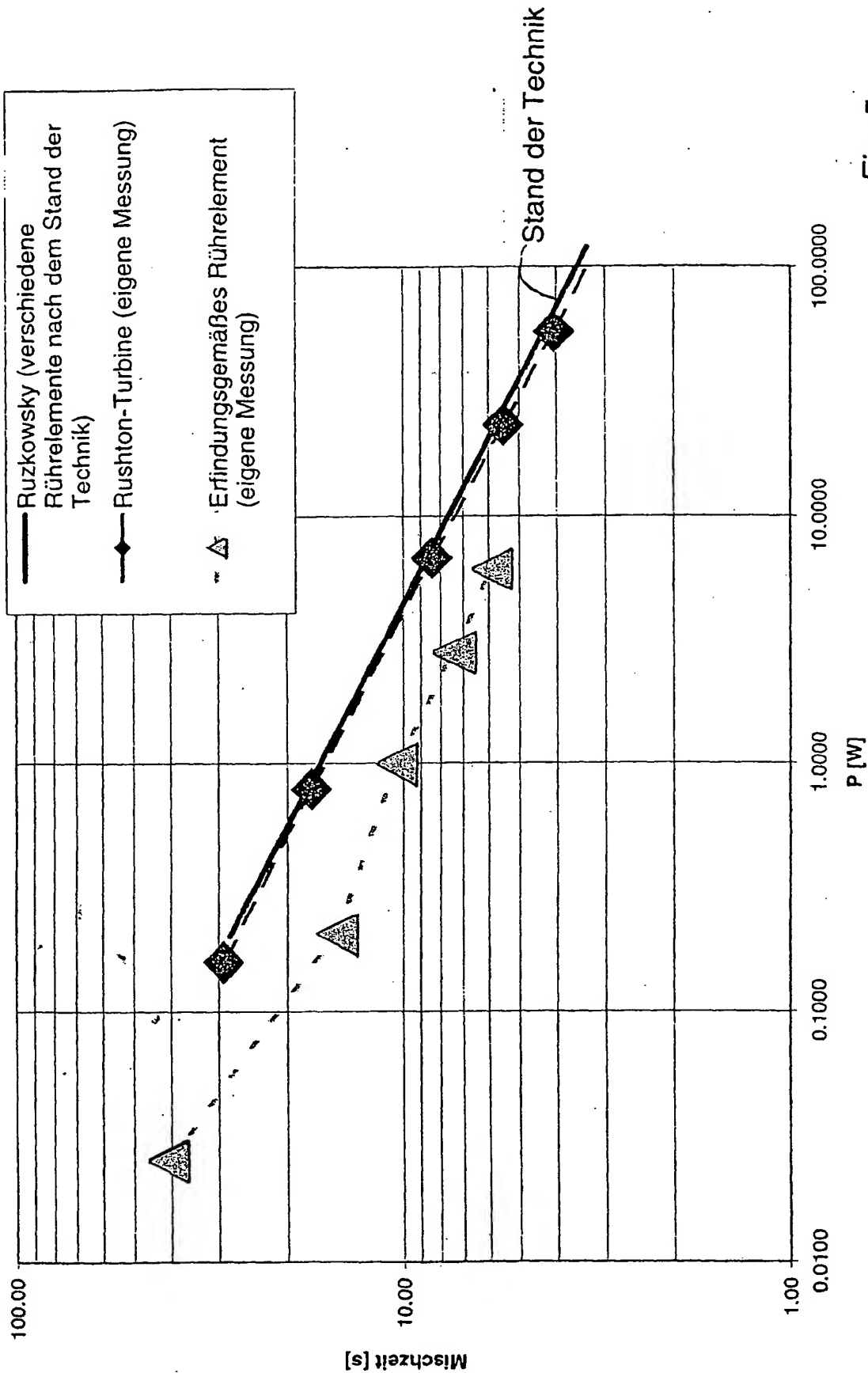


Fig. 5

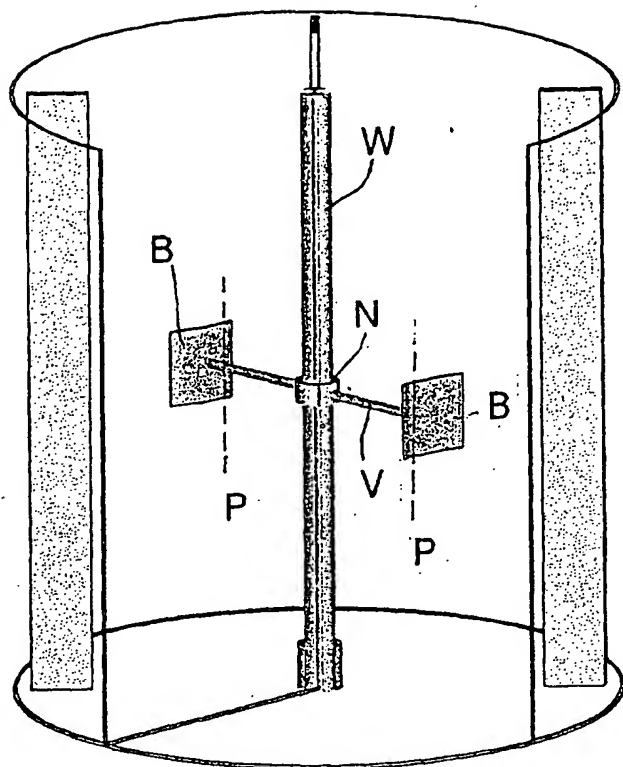


Fig. 6

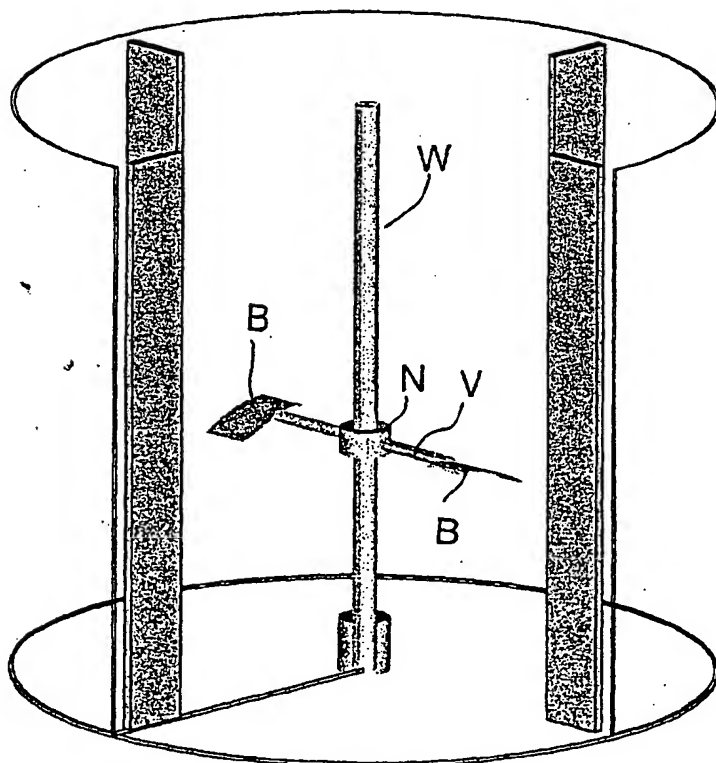


Fig. 7



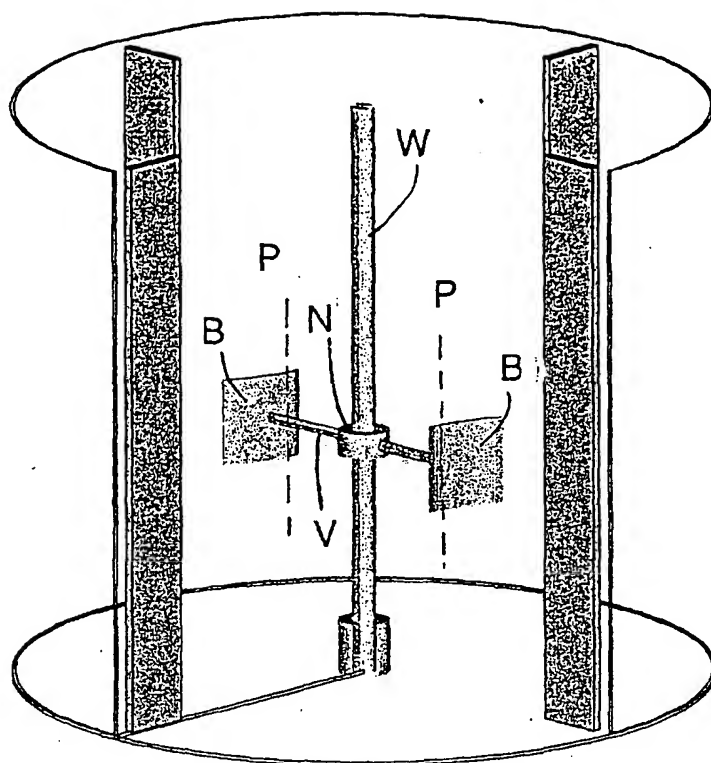


Fig. 8

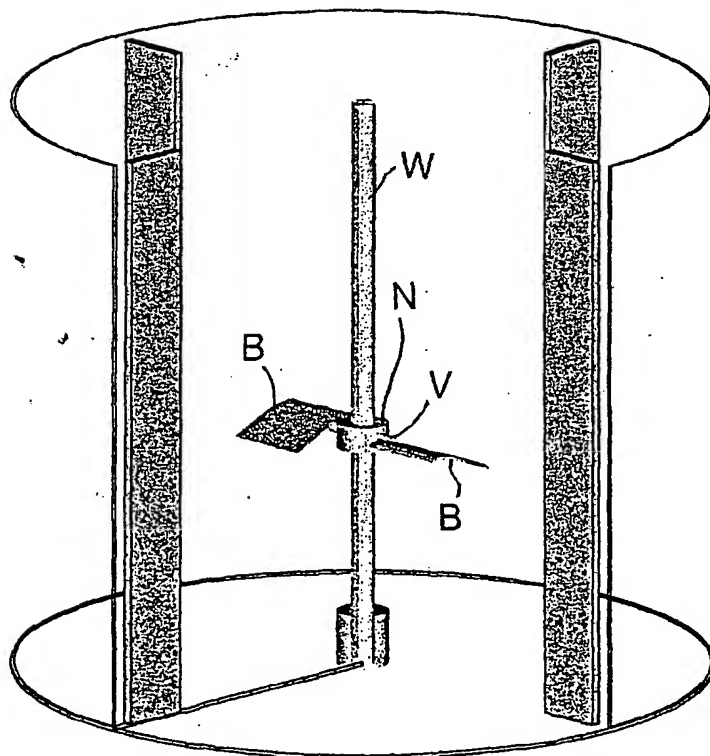


Fig. 9

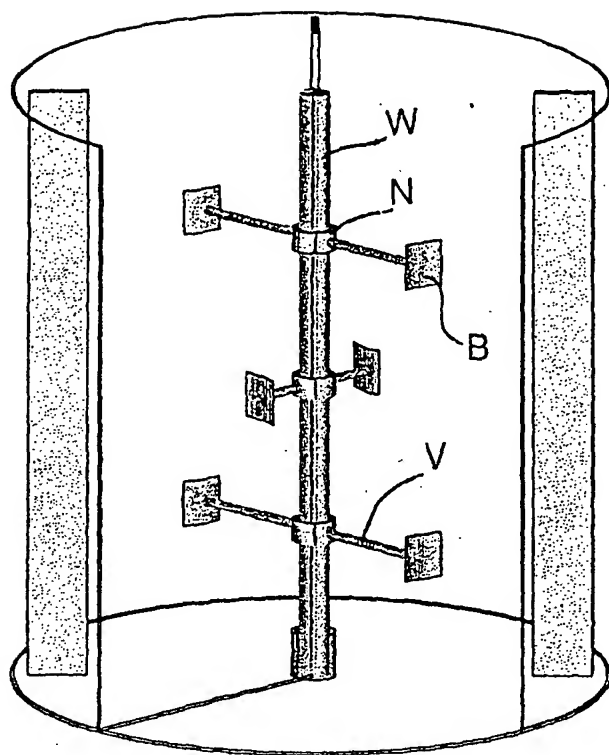


Fig. 10

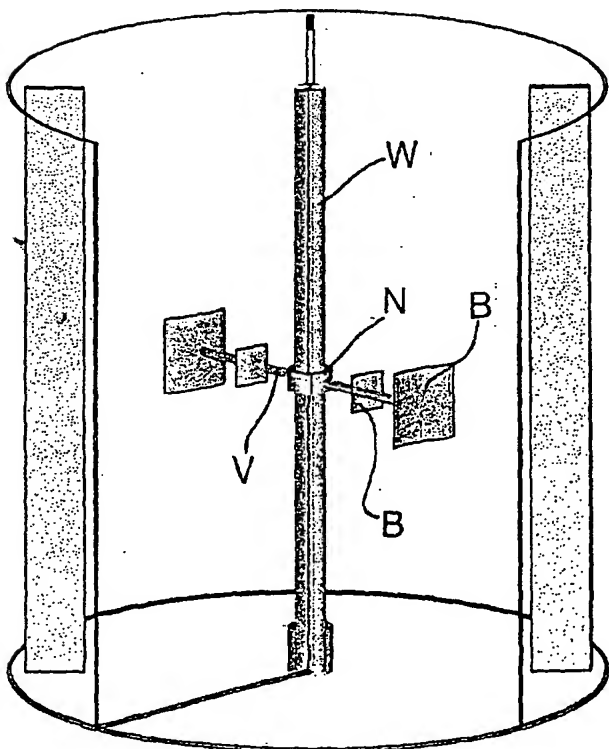


Fig. 11